

УДК 621.777.4

© Анищенко А.С.*

**АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ
КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ДЛЯ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Проанализированы технологии штамповки поковок компрессорных лопаток из титанового сплава BT3-1 на кривошипных горячештамповочных, гидровинтовых прессах, а также гидропрессах для изотермической штамповки. Определены области эффективного использования этих технологий. Показано, что совершенствование технологий штамповки необходимо осуществлять, в первую очередь, в направлении экономии основных материалов.

Ключевые слова: лопатка, штамповка, изотермическая, калибровка, пресс, гидравлический, гидровинтовой, кривошипный.

Аніщенко О.С. Аналіз альтернативних технологій штампування компресорних лопаток судових двигунів. Проаналізовані технології штампування поковок компресорних лопаток з титанового сплаву BT3-1 на кривошипних гарячештампувальних, гідрогвинтових пресах, а також гідропресах для ізотермічного штампування. Визначені області ефективного використання цих технологій. Показано, що вдосконалення технологій штампування необхідно здійснювати, в першу чергу, в напрямі економії основних матеріалів.

Ключові слова: лопатка, штампування, ізотермічна, калібрування, прес, гідравлічний, гідрогвинтовий, кривошипний.

O.S. Anish'enko. Analysis of alternative technologies stamping compressor blades of marine engines. The author has made an analysis of several technologies stamping forgings compressor blades from titanium alloy BT3-1. These technologies use different types of forming equipment: crank hot press, high-speed hammers, screw presses with hydraulic drive (SPHD), as well as isothermal forging hydraulic press. He pointed out the main advantages and disadvantages of the technology, noting that high-speed punching in the shipbuilding industry of Ukraine is not used for the manufacture of forgings blades. The article contains an economic analysis of the cost of forgings blades, which are made on four technologies: punching and calibration to crank hot press, stamping and calibration to press for isothermal forging, stamping and calibration on SPHD-press, stamping on SPHD-press and calibration to press for isothermal forging. The author has identified the effective use of these technologies. He showed that the use of SPHD-presses and hydraulic presses for isothermal forging reduces the cost of forging on the average 12% in comparison with the technology at the crank hot stamping press, increases the utilization of metal 1,3-1,5 times more, reduces power consumption 1,05-3,0 times less and complexity of manufacturing 1,8-4,2 times. However SPHD-press increases capital investment in the organization of stamping technology 2,6-5,3 times more and depreciation 2-4 times. Isothermal forging technology requires the cost of the stamps in 1,4-2,0 times higher than stamps for crank presses. The author argues that stamping forging blades technology improvement should be implemented saving basic materials first of all. Efficiency of isothermal stamping and calibration will be the higher, the more geometric dimensions of stamped forgings are.

Keywords: blade, stamping, isothermal, calibration, press, hydraulic, screw, crank.

Постановка проблемы. Поковки лопаток турбин и компрессоров являются одним из наиболее сложных видов продукции кузнечных цехов. Номенклатура лопаток характеризуется большим разнообразием форм и размеров, жесткими требованиями к прочностным свойствам и

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, as4@ya.ru

геометрической точности, а также различающейся на четыре порядка серийностью производства. Основными конструктивными параметрами, которые влияют на технологию компрессорных лопаток, являются:

- габаритные размеры;
- материал лопаток;
- предельные допуски на отклонения размеров поверхностей пера и хвостовика;
- формы хвостовика и пера;
- шероховатость поверхностей лопатки;
- толщина и радиусы скругления кромок;
- радиусы сопряжения пера с полкой.

По данным работы [1] в мире существует свыше 10 тысяч существующих, осваиваемых и перспективных технологических процессов изготовления лопаток. Провести сравнительный анализ эффективности этих альтернативных процессов весьма сложно из-за несопоставимости экономических показателей производства на тех или иных предприятиях, различного парка оборудования, изготавливающего лопатки, неодинаковых условий поставки металла и ряда других факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. Технологические процессы изготовления поковок лопаток содержат достаточно большое количество операций обработки давлением. К ним относятся предварительное фасонирование исходной заготовки, штамповка в несколько переходов, обрезка облоя, калибровка. Альтернативные технологии штамповки либо сокращают количество операций или переходов, либо изменяют качественные или количественные показатели поковок или процесса в целом (точность размеров, физико-механические свойства поковок, трудоемкость обработки и т.д.).

Традиционные технологии на базе кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП), включают следующие операции:

- набор металла под замок: 1) высадкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) в несколько переходов; 2) высадкой на электровинтовых прессах с дугостаторным приводом (ЭПДП) за 1 переход;
- штамповка в два-три перехода на КГШП;
- обрезка облоя на кривошипных обрезных прессах;
- калибровка на КГШП.

Для штамповки поковок лопаток применяют в основном КГШП силой до 63 МН. Крупногабаритные поковки лопаток штампуют на молотах. В частности, для изготовления лопаток длиной 1400 мм на заводе «Турболопатка» (г. Санкт-Петербург) задействован штамповочный молот с массой падающих частей 25 тонн.

Однако компрессорные лопатки судовых двигателей не имеют больших габаритов. Кроме того, в отрасли нет уникальных штамповочных молотов.

Общепризнано [2], что наиболее эффективными альтернативными технологиями штамповки поковок лопаток являются:

- изотермическая штамповка;
- штамповка на винтовых прессах;
- штамповка на высокоскоростных молотах.

Изотермическая штамповка (ИШ) на специализированных гидравлических прессах, как правило, не устраняет операции предварительного фасонирования заготовки, но сокращает на 1-2 перехода штамповку и иногда устраняет операции обрезки облоя (безоблойная ИШ). Изотермическая штамповка нашла свое применение в судостроении на турбинных заводах «Заря-Машпроект» (г. Николаев) и «Констар» (г. Кривой Рог) [3, 4].

Процесс позволяет уменьшить припуски по перу до 0,2-0,6 мм на сторону и повысить КИМ до 0,3-0,4.

Однако технология энергозатратная, непроизводительная (до 200 поковок в смену), усложняет изготовление и эксплуатацию штамповых блоков и штампов.

В последнее время процессы изотермической штамповки поковок лопаток дополнились весьма перспективными технологиями. По одной из них исходную заготовку получают горячей гидроэкструзией из порошков, компоненты которых имеют размеры в диапазоне десятков и сотен нанометров [5]. Это позволяет в большей степени использовать режимы сверхпластиче-

ской деформации при изотермической штамповке лопаток из порошковых заготовок.

Согласно другой технологии титановые лопатки изготавливают полыми, используя для этого сверхпластическую формовку сварных по контуру двух и более заготовок и последующую диффузионную сварку [6].

Однако указанные технологии созданы в обеспечение потребностей аэрокосмической промышленности лопатками аномально малой массы со специфическими эксплуатационными свойствами. Трудоемкость таких лопаток выше, чем при традиционных способах штамповки.

В судовых турбинных установках требования к массе лопаток менее жесткие, в связи с чем указанные выше технологии в судостроении применения пока не нашли.

Высокоскоростная штамповка (ВШ) поковок [1, 2] осуществляется за счет импульсного однократного приложения нагрузки, что связано с высокой скоростью деформирования. При этом улучшается температурный режим штамповки: практически отсутствует теплопередача от заготовки в штамп, деформирование осуществляется в почти изотермических условиях. Из-за снижения контактного трения и полезного действия инерционных сил улучшается заполнение деформируемым металлом глубоких полостей штампа.

Недостатком процесса является низкая стойкость штампов, ограниченность номенклатуры материалов, способных выдерживать импульсные нагрузки, повышенный шум и вибрация. Производительность процесса хотя и выше чем при ИШ, но всё же уступает штамповке на КГШП.

Технология нашла свое применение на ряде авиазаводов России, предприятий Германии, США, Франции. Ввиду отсутствия разработчиков и специализированного оборудования технология ВШ в Украине в настоящее время для производства лопаток не применяется.

Винтовые прессы обеспечивают большую точность штампованных поковок по высоте благодаря работе до упора штампа в штамп и возможности регулировать ход, скорость движения ползуна и энергию удара [2]. Они имеют оптимальный для большинства металлов и сплавов диапазон скоростей деформирования, принудительное выталкивание поковок из штампов и др.

Указанные технологические особенности винтовых прессов позволяют все шире применять их для облойной и безоблойной штамповки поковок лопаток, в том числе в закрытых штампах с разъемными матрицами. Для этих целей чаще всего используют гидровинтовые прессы силой до 125 МН (фирма «Hasenklever», Германия) и электровинтовые прессы силой до 310 МН (фирмы «Muller-Weingarten», «Eumeco», Германия) [7].

Недостатками винтовых прессов является их высокая стоимость, большие затраты на фундаменты (в особенности для гидровинтовых прессов) и обслуживание при эксплуатации. Винтовые прессы чувствительны к внецентренному нагружению, поэтому многопереходные штампы на них в большинстве случаев не применяются, что снижает производительность. Для устранения негативного влияния огромных пусковых токов при включении электровинтовых прессов следует предусматривать электронную коммутацию поочередного включения электродвигателей и тиристорные преобразователи тока.

Целью данной работы является определение наиболее технологичной и экономичной технологии штамповки поковок компрессорных лопаток из титанового сплава ВТ3-1.

Изложение основного материала. Вышеприведенный анализ показал, что в судостроении из числа процессов, относящихся к области обработки давлением, используются сравнительно мало способов штамповки поковок лопаток, что позволяет при определенных допущениях проанализировать их технические достоинства и недостатки и оценить экономическую эффективность.

Изготовление поковок компрессорных лопаток в условиях судостроения связано с использованием четырех технологий:

№1 – штамповка и калибровка на кривошипных горячештампочных прессах (КГШП);

№2 – штамповка и калибровка на гидравлических прессах для изотермической штамповки (ГП) [3];

№3 – штамповка на гидровинтовых прессах (ГВП) и калибровка на ГП;

№4 – штамповка и калибровка на ГВП.

Помимо указанных формоизменяющих операций, в кузнечных цехах применяют предварительную высадку замков лопаток на горизонтально-ковочных машинах или электровинтовых прессах с дугостаторным приводом, предварительное фасонирование заготовок на ковочных

вальцах, удаление облоя на обрезных прессах.

Предварительный анализ трудоемкости и себестоимости поковок показал, что для технологий №1-4 затраты на высадку замков, фасонирование и обрезку облоя остаются почти неизменными. Кроме того, в незначительной степени изменяются расходы, связанные с нанесением на поковки защитных и технологических покрытий, фрезеровкой замков, газовым нагревом заготовок под изотермическую штамповку и использованием вспомогательных материалов при доводочных операциях. Доля этих затрат в общей себестоимости поковок составляет в зависимости от размера лопаток 1-11% и в дальнейшем анализе принимается константой.

С учетом изложенного, ниже приведен анализ технико-экономической эффективности технологий №1-4, который проводили по изменяющимся частям капитальных вложений и себестоимости. К ним в соответствии с методикой [8] были отнесены капитальные вложения в оборудование и производственные площади, затраты на основные материалы (титановый сплав ВТЗ-1), заработную плату кузнецов и шлифовальщиков, текущий ремонт и техническое обслуживание деформирующего оборудования и станков электрохимической шлифовки и «алмазного выглаживания» пера лопаток, штамповый инструмент (блоки, пакеты штампов и штамповые вставки), силовую электроэнергию и амортизационные отчисления. За критерий эффективности той или иной технологии были принят параметр «приведенные затраты».

Расчеты проводили применительно к условной годовой программе 100 тысяч штук лопаток с длиной пера до 120 (вариант А), от 120 до 250 (вариант Б) и от 250 до 350 (вариант В). Выбранные типоразмеры лопаток обусловлены тем, что лопатки с длиной пера, превышающей верхний предел типоразмера, следует штамповать на КГШП или ГВП другой модели с большей номинальной силой и, следовательно, с иными затратами. В частности, при варианте А используется КГШП силой 25 МН или ГВП силой 16 МН, при варианте Б – соответственно 40 и 25 МН, при варианте В – соответственно 63 и 40 МН. Вместе с тем для изотермической штамповки и калибровки лопаток указанных типоразмеров достаточно применить ГП силой 6,3 МН, оснащенный штамповым блоком любого вида нагрева для лопаток с длиной пера до 250 мм. Вариант В требует использования изотермических штамповых блоков индукционного нагрева, которые при тех же габаритах имеют увеличенные размеры штамповых вставок.

Поскольку судовые турбинные двигатели предназначались для военно-морского флота, в расчетах использовали относительные показатели в процентах. В связи с тем, что технология №1 освоена достаточно давно и наиболее распространена, она была принята за базовую. Для технологии №1 рассчитывали технологические себестоимости (изменяющиеся части затрат) трех типоразмеров поковок лопаток и приравнивали их к 100%. В абсолютных числах, естественно, наиболее дорогими были лопатки по варианту В, а самыми дешевыми – лопатки по варианту А. Далее, для каждого варианта (типоразмера) лопаток рассчитанные абсолютные значения капитальных вложений, приведенных затрат и статей затрат в технологической себестоимости переводили в проценты относительно себестоимости этого же варианта лопаток.

Относительные экономические показатели штамповки поковок лопаток приведены в таблице и на рисунке.

Различие показателей в таблице обусловлено следующими особенностями технологий. Наименьшими затратами на основные материалы характеризуются технологии №2, 3, предусматривающие изотермическую калибровку поковок, которая полностью устраняет коробление, в том числе и вторичное, возникающее в титановых поковках с тонким полотном. Это позволяет снижать до минимума (0,3-0,5 мм) припуск по перу лопаток при штамповке на ГВП или ГП. Штамповка на КГШП столь точных поковок практически неосуществима, в связи с чем в таблице не рассматриваются технологии, предусматривающие изотермическую калибровку поковок после штамповки на КГШП.

Отметим, что, несмотря на возможность обеспечения малых припусков по перу при штамповке на ГВП, технология №4 предусматривает несколько увеличенные их размеры из-за того, что калибровка на ГВП поковок с весьма тонким полотном вызывает вторичное коробление пера лопаток.

С увеличением размеров лопаток доля затрат на основные материалы в общей себестоимости поковок возрастает, следовательно, металлосберегающие технологии №2, 3 будут еще более эффективны при штамповке лопаток с длиной пера свыше 350 мм, что подтверждается и другими исследователями [9].

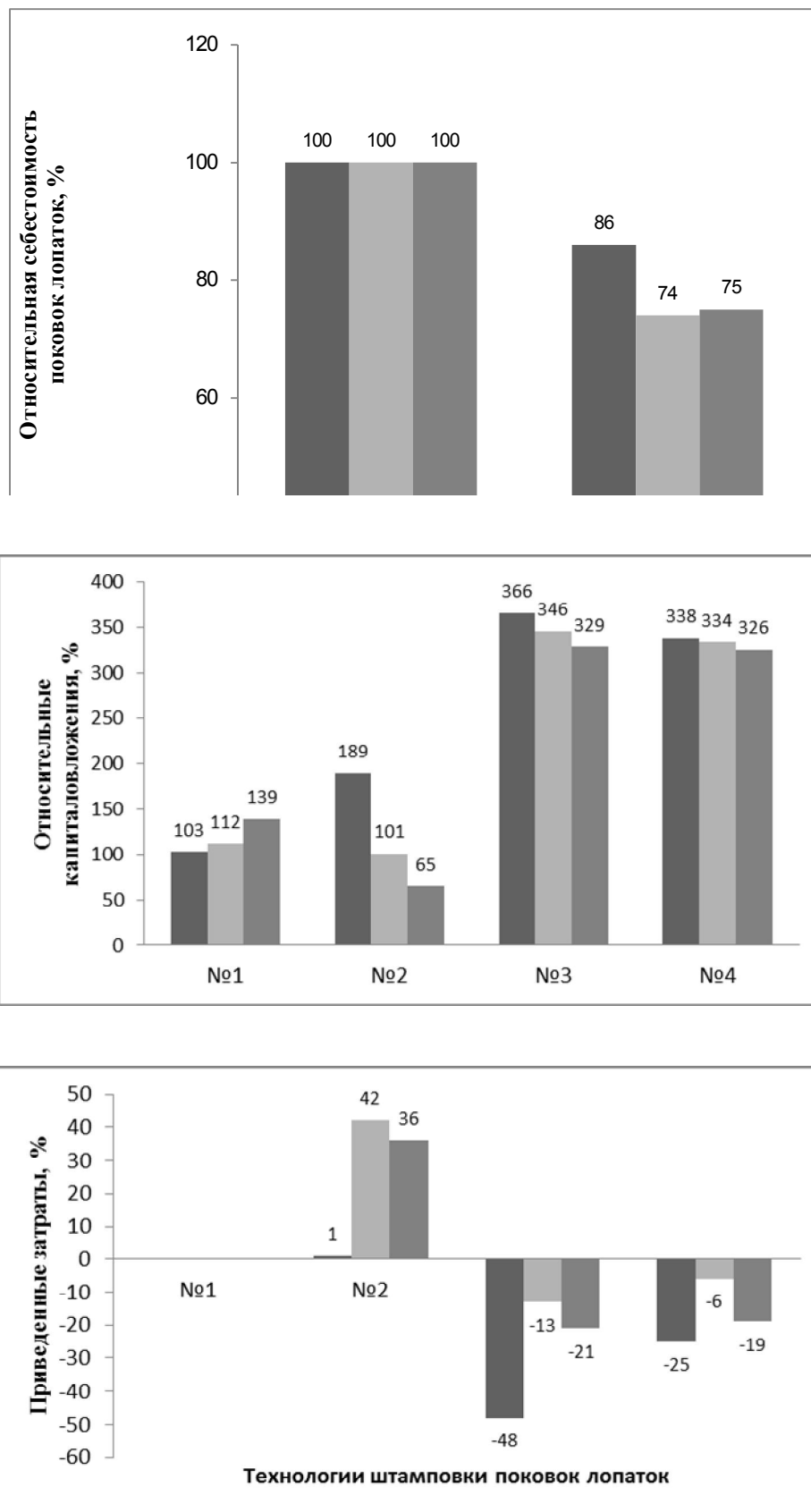


Рисунок – Относительные экономические показатели сравниваемых технологий штамповки поковок лопаток: ■ – вариант А; ■ – вариант Б; ■ – вариант В

Таблица

Относительные (в %) показатели экономической эффективности
различных процессов штамповки поковок лопаток из титанового сплава ВТ3-1

Изменяющиеся статьи затрат	Сравниваемые технологии											
	№1			№2			№3			№4		
	Варианты			Варианты			Варианты			Варианты		
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
1. Технологическая себестоимость поковок лопаток, в том числе:	100	100	100	86	74	75	108	93	92	90	87	91
- затраты на основные материалы;	52	67	77	37	50	58	37	50	58	42	52	62
- заработная плата;	16	10	7	6	3	2	5	3	2	8	5	3
- амортизационные отчисления;	4	8	5	8	4	3	16	15	14	14	15	15
- затраты на силовую энергию;	4	3	3	1	1	1	4	3	5	5	4	3
- затраты на штампы.	21	10	7	32	14	9	44	19	12	20	10	7
2. Капитальные вложения	103	112	139	189	101	65	366	346	329	338	334	326
3. Приведенные затраты	-	-	-	1,3	42,4	36,2	47,8	13,4	21	25,1	5,8	19,0

Несмотря на сравнительно низкую производительность гидравлических прессов для изотермической штамповки, затраты на заработную плату для технологий №2, 3 минимальны. Это связано с существенной экономией рабочего времени при снятии малых припусков на поковках «алмазным выглаживанием». Доводка пера до чистовых размеров менее точных поковок требует в 2,5-5,0 раз больше времени и осуществляется, как правило, электрохимическим шлифованием.

Амортизационные отчисления аномально высоки для технологий №3, 4 и определяются высокой стоимостью импортных ГВП (в 3-7 раз выше стоимости ГП силой 6,3 МН).

Затраты на силовую энергию минимальны при изотермической штамповке и калибровке лишь тогда, когда используются штамповые блоки газового нагрева заготовок, то есть в рассматриваемом случае [10]. При нагреве заготовок электросопротивлением или индуктором эти затраты на 1-2% будут превышать аналогичные показатели технологий №1, 4.

Поскольку штамповые блоки для изотермической штамповки весьма дороги, затраты на штампы будут в большинстве случаев выше для технологий №2, 3. Причем при рабочей температуре штамповки свыше 1000 °С стоимость штампов для изотермического деформирования может резко возрасти из-за необходимости применения молибденовых вставок и инертной атмосферы и стать определяющим фактором неэффективности изотермической штамповки.

Использование гидравлических прессов и гидравлических прессов для изотермической штамповки снижает себестоимость поковок в среднем на 12% по сравнению с устаревшей технологией штамповки на КГШП, увеличивает КИМ в 1,3-1,5 раза, уменьшает расход электроэнергии в 1,05-3,0 раза и трудоемкость изготовления в 1,8-4,2 раза. Однако при этом капиталовложения, если речь идет о ГВП, возрастают в 2,6-5,3 раза, амортизационные отчисления в 2-4 раза. Затраты на штампы для ГП в 1,4-2,0 раза выше, чем для КГШП.

При переводе кузнечного цеха с двухсменного на круглосуточный режим работы обеспечивается снижение себестоимости поковок на 69% в сравнении с показателями таблицы за счет более полной загрузки оборудования. Капиталовложения при этом сокращаются на 71%.

Хотя себестоимость поковок, штампуемых по технологиям №2-4, почти во всех случаях ниже базовой, приведенные затраты показывают, что из-за высокой стоимости ГВП технологии

№3, 4 убыточны в сравнении с базовой (в таблице приведенные затраты для них показаны со знаком минус). Технология №2 конкурентоспособна со штамповкой на КГШП лишь для лопаток с длиной пера свыше 120 мм.

Выводы

1. Применение гидровинтовых прессов и гидравлических прессов для изотермической штамповки позволяет на 12-18% снизить себестоимость поковок компрессорных лопаток в сравнении со штамповкой на кривошипных горячештамповочных прессах.

2. Вновь создаваемые участки штамповки поковок лопаток из титановых сплавов следует оснащать прессами для изотермической штамповки, обеспечивающими наименьшие приведенные затраты.

3. При производстве поковок лопаток из титановых сплавов наиболее эффективными являются процессы, в максимальной степени обеспечивающие экономию основных материалов.

Список использованных источников:

1. Изготовление деталей пластическим деформированием / К.Н. Богоявленский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1975. – 424 с.
2. Крымов В.В. Производство лопаток газотурбинных двигателей / В.В. Крымов, Ю.С. Елисе-ев, К.И. Зудин. – М. : Машиностроение/Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.
3. Анищенко А.С. Изотермическая штамповка титановых лопаток / А.С. Анищенко, М.М. Корольштейн // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1994. – №12. – С. 25-27.
4. Анищенко А.С. Состояние и перспективы внедрения в судостроении изотермического деформирования и деформирования в режиме сверхпластичности / А.С. Анищенко, М.А. Цепин, Д.И. Чашников // Судостроительная промышленность. Серия : Металлургия и металловедение. – 1987. – Вып.4. – С. 48-52.
5. Новые материалы / Ю.С. Карабасов [и др.]. – М. : МИСиС, 2002. – 736 с.
6. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением / В.А. Голеньков [и др.]. – М. : Машиностроение, 2004. – 464 с.
7. Бочаров Ю.А. Винтовые прессы / Ю.А. Бочаров // Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2009. – №5. – С. 16-18.
8. Методика определения экономической эффективности новой техники в кузнечно-штамповочном производстве. – Воронеж : ЭНИКМАШ, 1974. – 188 с.
9. Проблемы технологии изготовления лопаток компрессоров ГТД : Материалы совещания. – М. : НИАТ, 1982. – 114 с.
10. Анищенко А.С. Штамповые блоки газового нагрева для изотермического деформирования металлов / А.С. Анищенко // Захист металургійних машин від поломок : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2013. – Вип. 15. – С.118-122.

Bibliography:

1. Manufacture of parts by plastic deformation / K.N. Bogoyavlenskiy [et al.]. – Moscow, Mashinostroenie, 1975/ – 424 p. (Rus.)
2. Krymov V.V. Production of gas turbine engine blades / V.V. Krymov, Y.S. Yeliseev, K.I. Zudin. – Moscow : Mashinostroyeniye/Mashinostroyeniye-Polet, 2002. – 376 p. (Rus.)
3. Anish'enko A.S. Isothermal forging of titanium blades / A.S. Anish'enko, M.M. Korolshteyn // Chemical and petroleum engineering. – 1994. – №12. – P. 25-27. (Rus.)
4. Anish'enko A.S. Status and prospects of implementation in shipbuilding isothermal deformation and deformation in superplasticity / A.S. Anish'enko, M.A. Tsepin, D.I. Chashnikov // Shipbuilding industry. Series : Metallurgy and Metallography. – 1987. – Issue 4. – P. 48-52. (Rus.)
5. New materials / Y.S. Karabasov [et al.]. – Moscow : MISiS, 2002. – 736 p. (Rus.)
6. Special processes and equipment forming / V.A. Golenkov [et al.]. – Moscow : Mashinostroenie, 2004. – 464 p. (Rus.)
7. Bocharov Y.A. Screw presses / Y.A. Bocharov // Repair. Innovation. Technology. Modernization. – 2009. – №5. – P. 16-18. (Rus.)
8. Method of determining the cost-effectiveness of new technology in the forging and stamping technologies. – Voronezh : ENIKMASH, 1974. – 188 p. (Rus.)

9. Problems of manufacturing technology compressor vanes GTD: Proceedings of the meeting. – М. : NIAT, 1982. – 114 p. (Rus.)
10. Anish'enko A.S. Punching gas heating units for isothermal deformation of metals / A.S. Anisch'enko // Zakhist metalurgiyinikh mashin vid polomok : Collection of scientific works / SHEE «PSTU». – Mariupol, 2013. – Issue 15. – P. 118-122. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самоутугин
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 09.02.2015

УДК 621.98

© Балалаева Е.Ю.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДВУХСЛОЙНОГО УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА КОМПЕНСАТОРА ПОГРЕШНОСТЕЙ СИСТЕМЫ «ПРЕСС-ШТАМП»

В статье приведены усовершенствованные конструкции упругого элемента компенсатора погрешностей направления ползуна. Определена оптимальная величина горизонтального перемещения верхней пластины для достижения необходимой жесткости упругого элемента.

Ключевые слова: система «пресс-штамп», компенсатор погрешностей, упругий элемент, жесткость, площадь перекрытия, диапазон технологических усилий.

Балалаева О.Ю. Удосконалення конструкції двошарового пружного елемента компенсатора похибок системи «прес-штамп». У статті наведені удосконалені конструкції пружного елемента похибок напрямку повзуна. Визначена оптимальна величина горизонтального переміщення пластини для досягнення необхідної жорсткості пружного елемента.

Ключові слова: система «прес-штамп», компенсатор похибок, пружний елемент, жорсткість, площа перекриття, діапазон технологічних зусиль.

E.Yu. Balalayeva. *Two-layer elastic element of the compensator for the errors of the «press-and-die» system design improvement.* The article presents the improved design of the elastic element of the slide direction error compensator. The two-layer elastic element consisting of upper and lower elastic plates of variable thickness is placed between supporting surfaces of the slide and the die upper plate. The joint between the upper and lower plates is stepped. The rigidity of this compound elastic element is specified so that at the processing load deformation of the elastic element can not exceed 20-25% of its total height. The optimal value of the horizontal displacement of the upper plate necessary to achieve the necessary rigidity of the elastic element is defined in the article. It has been found that the displacement of the upper plate of of two-layer elastic element should be multiple to the height of the press bed deformation at processing loads. Variable thickness of the compound elastic element may also be used to adjust the interdie space. The processing loads range has been widened as well as the application of the compensator for the «press-and-die» system errors. The proposed design of the compensator elastic element is simple and with minimum of expenses, makes it possible to withstand several million compression cycles.

Keywords: «press-and-die» system, compensator for errors, elastic element, rigidity, overlapping area.

* канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, balalaeveu@gmail.com